

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Кириченко Костянтин Володимирович

УДК 629.5.081.326

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПОБУДОВИ
ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПОНТОНА ПЛАВУЧИХ КОМПОЗИТНИХ ДОКІВ**

Спеціальність 05.08.03 – Конструювання та будування суден

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2021

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Щедролосєв Олександр Вікторович,
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова (Херсонська філія), м. Херсон,
завідувач кафедри суднобудування та ремонту суден

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Єгупов Костянтин Вячеславович,
Одеський національний морський університет, м. Одеса,
директор Науково-дослідного інституту
фундаментальних і прикладних досліджень

кандидат технічних наук, доцент
Давидов Ігор Пилипович,
Національний університет
«Одеська морська академія», м. Одеса,
завідувач кафедри теорії та устрою судна

Захист відбудеться «26» квітня 2021 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.02 Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: ауд. 360, просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою:
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025, та на сайті: <http://nuos.edu.ua>

Автореферат розісланий «25» березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д-р техн. наук, професор



В. В. Зайцев

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дисертаційної роботи. З кінця минулого століття у світовому суднобудуванні прискорюється процес побудови великотоннажних транспортних суден. Ця тенденція розвитку сучасного суднобудування є досить стійкою, оскільки економічність побудови й експлуатації суден зростає по мірі збільшення їх тоннажу, внаслідок зменшення будівельних та експлуатаційних витрат, віднесених до 1 т дедвейту. У зв'язку з тим, що судноремонт великотоннажних суден постійно збільшується, все більше застосовуються плавучі доки великої підйомної сили. Плавучі доки, незважаючи на складний устрій і високу експлуатаційну вартість, у даний час є одним з основних засобів для ремонту, спуску, підйому та утилізації суден. Найбільш поширеним сучасним типом доку є композитний плавучий док великої підйомної сили, що складається із залізобетонного понтона і двох суцільних сталевих башт. Композитні доки економічніші за суцільнометалеві: витрата сталі на 1 т підйомної сили композитного доку та відповідно вага металу для його будівництва в 2,0...2,5 рази менша, а вартість будівництва на 8...10 % менша, ніж у аналогічних суцільнометалевих.

Постійні потреби світового судноплавства в обстеженні та контролі стану суден, судноремонті, технічному обслуговуванні їх підводної частини обумовлюють підвищений попит на композитні плавучі доки великої підйомної сили, виробництво яких стає предметом вигідного бізнесу й одним з важливих напрямків виходу вітчизняної докобудівної продукції на світовий ринок.

Значний внесок у розробку конструкцій плавучих доків та технологій їх побудови зроблено колективами Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова та ДП ЦКБ «Ізумруд». Вирішенню цієї проблеми присвячені роботи авторів: Абросімова К.А., Бондурянського З.П., Гофтарша П.С., Єгорова Н.М., Козлякова В.В., Меламеда Е.Е., Мільто О.О., Мішутіна В.А., Пасинського А.М., Рибалова І.І., Рашковського О.С., Щедролосєва О.В., Коростильова Л.І., Коннова В.М., Сіверцева І.М., Синцова Г.М., Танхельсона Г.В., Wang C.M., Utsunomiya T., Firat Y., Easley R., Zinserling M., Xu-jun Chen, Yuji Miao, Xuefeng Tang, Junyi Liu та ін.

Розрахунок міцності плит залізобетонного понтона плавучих композитних доків та перспективи їх побудови наведені в наукових працях канд.техн.наук, лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки Слуцького М.Г., але питання визначення залежностей між лінійними розмірами пластин понтона доку та силовими факторами залишаються невирішеними на шляху визначення раціональних конструкцій та вдосконалення технології виготовлення залізобетонних понтонів для сучасного докобудування. В цьому полягає наукова новизна та практична цінність даного дисертаційного дослідження.

Таким чином, удосконалення конструкцій та технологій побудови залізобетонних понтонів композитних плавучих доків великої підйомної сили, конкурентоспроможних на світовому ринку, є досить актуальним науково-технічним завданням.

В основу дисертаційного дослідження покладено *наукову гіпотезу* про зменшення матеріалоемності конструкції понтона плавучого композитного доку на основі розрахунків напружено-деформованого стану залізобетонних плит.

Мета дисертаційного дослідження полягає в удосконаленні конструкції та технології побудови залізобетонного понтона композитних плавучих доків. Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі розв'язуються наступні **наукові завдання**:

1) визначити вимоги, що пред'являються до корпусу доку й окремих його конструкцій на основі вимог Регістру та аналізу ряду існуючих вітчизняних і закордонних конструкцій плавучих доків, та розробити вдосконалену конструкцію і технологію побудови залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору, яка дає змогу знизити матеріалоемність та трудомісткість побудови доку;

2) провести розрахунок міцності вдосконаленої конструкції залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору з урахуванням роботи арматури у взаємно перпендикулярних напрямках;

3) визначити раціональні розміри плит понтона зі зменшеною кількістю набору для зменшення матеріалоемності конструкції;

4) розробити робочі конструктивні схеми та технологію виготовлення залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору для впровадження результатів проведених досліджень у виробництво;

5) впровадити результати дисертаційного дослідження у виробництво та навчальний процес.

Об'єктом дослідження є конструювання та технологічний процес побудови залізобетонного понтона плавучого композитного доку.

Предметом дослідження є залізобетонний понтон плавучого композитного доку.

Для виконання досліджень використовувались наступні **методи**:

- методи емпіричного дослідження: спостереження та порівняння;
- загальнологічні методи і прийоми дослідження: аналіз, дедукція;
- методи обчислювальної математики.

Методи емпіричного дослідження використовувались при порівнянні конструкцій композитних плавучих доків зі зменшеною кількістю набору в понтоні доку та традиційних конструкцій доку.

Комплексний аналіз використовувався при розробці схем конструкцій понтона зі зменшеною кількістю набору плавучого доку. Для вибору схем конструкції понтона залізобетонного доку використовувався метод аналізу ієрархій, який дав змогу вибрати найбільш прийнятні схеми розташування перегородок у понтоні зі зменшеною кількістю набору за наступними критеріями: стійкість, матеріалоемність, трудомісткість.

Міцність стапель-палуби і днища понтона доку зі зменшеною кількістю набору визначалась за допомогою моделювання конструкцій у програмному комплексі SolidWorks Simulation та розрахунку методом скінченних елементів.

Метод статистичного аналізу використовувався при статистичному аналізі конструкцій понтонів доків з метою вибору найбільш раціональної конструкції.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в удосконаленні конструкції та технології побудови залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору на підставі визначення раціональних параметрів його плит, що дає змогу зменшити матеріалоемність конструкцій понтона та знизити трудомісткість технологічного процесу побудови залізобетонного понтона і є актуальним невирішеним раніше завданням докобудування.

У результаті дослідження:

- **вперше** досліджено розподіл стиснутих та розтягнутих зон залізобетонної плити понтона плавучого композитного доку зі зменшеною кількістю набору при різних значеннях товщини і відносин довжин сторін на основі числового моделювання. В результаті виявлено, що розподіл областей стислих і розтягнутих зон пластин не залежить від товщини при відхиленнях у межах 25 %, від референтного значення 160 мм, і визначено раціональні розміри плити – довжиною 7 м та шириною 3 м;

- **удосконалено** схему розрахунку стапель-палуби і днища залізобетонного понтона плавучого композитного доку для випадків повного занурення на тихій воді без урахування можливих динамічних навантажень, яка враховує роботу арматури у взаємно перпендикулярних напрямках, що дозволило точно оцінити напружено-деформований стан залізобетонних плит понтона зі зменшеною кількістю набору;

- **удосконалено** конструкцію залізобетонного понтона композитного плавучого доку зі зменшеною кількістю набору на основі результатів розрахунку міцності залізобетонних конструкцій, що дало змогу встановлювати поперечні перегородки між внутрішніми бортами на вдвічі більшій відстані, ніж за схемою, яка використовується на виробництві. В результаті зменшено матеріалоемність конструкцій понтонів на 12 %;

- **удосконалено** технологію побудови залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору за рахунок зміни конструкції оснащення стапеля, що дозволило раціоналізувати виготовлення понтона, полегшити умови праці, скоротити транспортні операції з перевезення великогабаритних щитів та забезпечити зниження трудомісткості технологічного процесу побудови понтона на 7 %;

- **удосконалено** конструктивно-технологічні схеми для антикорозійного захисту баластних систем плавучих доків методом «флотації», що дозволило зменшити трудовитратні роботи під час ремонту на 16 %, а також виключити трудомісткі роботи по відновленню захисних покриттів у важкодоступних відсіках та знизити трудомісткість загальноремонтних робіт на 9 %;

- **отримало подальший розвиток** застосування методики скінченно-елементного розрахунку залізобетонного понтона композитного плавучого доку, яка забезпечує раціональне конструювання понтона зі зменшеною кількістю набору.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Напрямок дисертаційного дослідження відповідає основним напрямкам досліджень Кораблебудівного навчально-наукового інституту НУК та узгоджується з наступними нормативними актами України: Законом № 3715-VI (редакція від 05.12.2012 р.) «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні»; «Морською доктриною України на період до 2035 року», що затверджена

постановою Кабінету Міністрів України № 1307-2009-п (редакція від 28.12.2018 р.); «Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року», що затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 430-2018-р (від 30.05.2018 р.).

Дисертація включає в себе результати наукових досліджень, отримані під час виконання договорів про творче співробітництво: № 2077 між кафедрою суднобудування Херсонської філії НУК та Херсонським державним заводом «Палада» від 03.01.2017 р., № 2134 між кафедрою будівництва та ремонту суден НУК і Херсонським державним заводом «Палада» від 05.02.2018 р. (номер державної реєстрації 0118U004145) та № 2181 між кафедрою будівництва та ремонту суден НУК і Херсонською верф'ю Smart Maritime Group від 07.05.2018 р. (номер державної реєстрації 0118U001703), де здобувач брав участь як відповідальний виконавець.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблені конструкція та технологія побудови композитних плавучих доків зі зменшеною кількістю набору в понтоні дозволили знизити матеріалоємність конструкцій понтонів доків на 12 % [6-8, 12, 16, 17, 19-21];
- побудована уточнена розрахункова схема стапель-палуби і днища понтона, яка враховує роботу арматури у взаємно перпендикулярних напрямках, що підтверджується розрахунком міцності залізобетонних конструкцій методом скінченних елементів. Побудовані графіки дали змогу визначати залежності між лінійними розмірами пластин понтона доку та силовими факторами [2, 12, 15];
- розроблено конструкцію опалубки для побудови залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору на стапелі, що дозволило знизити трудомісткість на 7 % при її установці на днищі і подальшій розпалубці [4, 18];
- технічну новизну отриманих результатів підтверджено патентами України на корисну модель № 126746 «Композитний безнабірний понтон доку», № 113891 «Стапель для спорудження залізобетонних суден» та № 117657 «Танк ізольованого баласту наливного судна» [9-11].

Впровадження результатів. Результати наукових розробок впроваджено в порядку дослідної експлуатації на Херсонському державному заводі «Палада» та Херсонській верфі Smart Maritime Group, використовуються в навчальному процесі відповідно до навчальних планів освітніх ступенів бакалавра та магістра зі спеціальності 135 «Суднобудування» за освітньо-професійними програмами «Суднокорпусобудування» та «Судноремонт та технічне обслуговування флоту» у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, висновки та рекомендації, які наведені в дисертації та виносяться на захист, отримані автором самостійно або за його безпосередньої участі. З робіт, опублікованих у співавторстві, на захист виносяться тільки ті частини, які розроблені автором самостійно. Певний вклад здобувача у наукових роботах, виконаних у співавторстві, наведено у списку робіт до автореферату.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи були представлені, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на конференціях:

- VI, IX, XI Міжнародних науково-технічних конференціях «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (2015 р., 2018 р., 2020 р., Миколаїв, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова);

- Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (2018 р., 2019 р., 2020 р., Миколаїв, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова);

- Міжнародній науково-технічній конференції «Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство» (2017 р., Херсон, Херсонська державна морська академія);

- X, XII Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT» (2018 р., 2020 р., Херсон, Херсонська державна морська академія);

- IX Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» (2020 р., Одеса, Одеський національний політехнічний університет);

- IX, X, XI Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО» (2018 р., 2019 р., 2020 р., Херсон, Херсонська державна морська академія);

- XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми водного транспорту» (2018 р., Баку, Азербайджанська Державна Морська Академія).

Публікації. Основні положення дисертації викладені у 33 друкованих наукових працях, а саме: 1 стаття у збірнику, який входить до НМБ **Scopus**; 5 статей у фахових наукових виданнях, що входять до переліку ДАК МОН України; 2 статті в міжнародних наукових профільних виданнях; 3 патенти України на корисну модель і 12 публікацій апробаційного характеру та 10 робіт, які додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків. Загальний обсяг становить 172 сторінки, обсяг основного тексту – 121 сторінка, додатків – 30 сторінок, в яких наведені епюри компонентів напружено-деформованого стану плит залізобетонного понтона, патенти, акти впровадження результатів досліджень та список опублікованих праць. Дисертація містить 78 рисунків, 4 таблиці і посилання на 142 літературних джерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** представлена загальна характеристика дисертації: обґрунтування вибору теми дослідження; мета і завдання дослідження відповідно до предмета та об'єкта дослідження; методи дослідження; наукова новизна отриманих результатів; апробація матеріалів дисертації та структура й обсяг дисертації.

У **першому розділі** виконано огляд і аналіз існуючих сучасних конструкцій залізобетонних понтонів та плавучих доків таких компаній: «Adamant» (Україна), «Pontoon House» (Україна), «SM Ponton» (Словаччина), «Top Marine» (Естонія), «Shenzhen Horizon marina Co.,Ltd» (Китай), «Total Floating Systems» (Нова Зеландія),

«Marinetek» (Фінляндія), розглянуто конструкції композитних доків, побудованих на ХДЗ «Палада» (Україна), та конструкції доків компаній «Sun Shipbuilding & Dry Dock» (США), «Blohm und Voss» (Німеччина), «Gutaverken» (Швеція), «Litton Industries» (США), «Cantieri Navali Riuniti» (Італія), «Bethlehem Steel Co.» (США), «Nakilat-keppel Offshore & Marine Ltd.» (Катар), «Avondale Shipyards Inc.» (США).

Наведено класифікацію доків за призначенням, формою, матеріалом корпусу й автономністю. Серед розглянутих конструкцій доків найкращі показники має композитний плавучий док. З'ясовано, що за техніко-експлуатаційними та економічними характеристиками композитні плавучі доки перевершують суцільнометалеві, які широко застосовуються за кордоном. Перевагами композитних доків є економія металу за рахунок використання бетону і раціональнішого розміщення сталі в конструкції корпусу.

На споруду залізобетонного корпусу потрібно в 1,5...2 рази менше металу, чим для аналогічного сталевих; суднобудівельний бетон з часом не руйнується під впливом корозії, як сталь, і не знижує своєї міцності; збільшується довговічність корпусу. Визначені найбільш ефективні пластифікатори бетонної суміші для побудови плавучих доків.

Крім того, експлуатаційні витрати композитного доку менші, ніж сталевих, приблизно на 70 %, оскільки ремонт пошкодженого корпусу в більшості випадків здійснюється силами команди, без виведення споруди з експлуатації, що не завжди можливо при ремонті сталевих доків. Також на 15...20 % знижується вартість побудови при менших капітальних вкладеннях на організацію виробництва.

Однак для створення і побудови конкурентоспроможних на світовому ринку вітчизняних композитних доків великої підйомної сили і безпечного їх транспортування до місця базування необхідно вирішити ряд нагальних складних науково-технічних завдань, які пов'язані з удосконаленням конструкції та технології побудови композитних доків. З'ясовано, що на даному етапі не пророблені комплексні питання зменшення матеріалоємності у понтоні доку.

Визначено основні недоліки побудованих композитних плавучих доків:

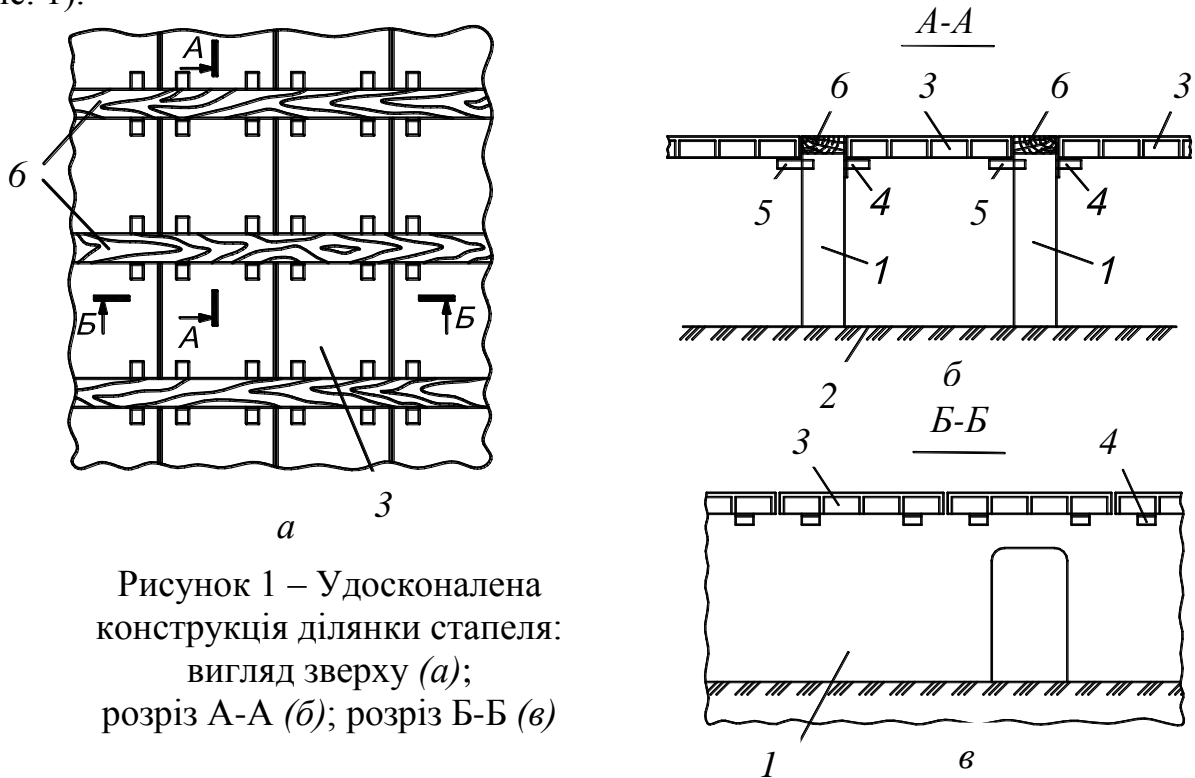
- збільшена вага корпусу, внаслідок чого плавучі споруди мають велику осадку;
- знижена опірність тонкостінних залізобетонних конструкцій динамічним, особливо зосередженим навантаженням. Ці навантаження можуть викликати утворення тріщин, місцеві руйнування, наскрізні пробоїни, що порушують водонепроникність корпусу;
- доки мають вищі вимоги щодо забезпечення непотоплюваності у зв'язку з тим, що міцність зовнішньої обшивки корпусу нижча, ніж у сталевих;
- якість побудови залежить від кліматичних умов. При негативній температурі ускладнюється, а іноді виявляється взагалі неможливим виконання бетонних робіт.

За результатами виконаного огляду літературних джерел і конструкцій реальних доків виявлено проблеми в конструкціях сучасних композитних плавучих доків, обрано основні напрямки дослідження та поставлено основні завдання дисертаційної роботи. Обґрунтовано вибір теми дисертаційного дослідження, показано його важливість та актуальність, а також відповідність спеціальності

05.08.03 – Конструювання та будування суден (п. 3 Теорія і методи будівельної механіки судна, розрахунків та експериментальних досліджень міцності, стійкості, вібрації і надійності корпусних конструкцій та елементів суден, морських, річкових плавучих споруд, засобів океанотехніки, підводно-технічних систем і комплексів, підводних апаратів, суднових пристроїв та загальносуднових систем, п. 11. Розроблення методів і технологій побудови плавучих композитних споруд). Визначено основні методи дослідження.

У **другому розділі** запропоновано комплекс конструктивно-технологічних рішень удосконалення побудови доків з урахуванням діючих нормативних вимог Класифікаційних Товариств, що пред'являються до корпусу доку та окремих його конструкцій. Розв'язано пошукове завдання визначення взаємозв'язку між основними вимогами до конструкцій доку та їх раціоналізацією.

Удосконалено оснащення стапеля для побудови залізобетонного понтона доку (рис. 1).



На рис. 1 позначено: 1 – опорні кільблки; 2 – опорна поверхня; 3 – каркасні щити; 4 – шарніри; 5 – упори; 6 – подушка. Для зменшення загальної величини згинального моменту системи «док-судно» на опорній поверхні стапеля встановлюються конструктивні опорні кільблки.

Розроблений конструктивний пристрій дає змогу раціоналізувати виготовлення понтона і забезпечити зниження трудомісткості при установці опалубки днища та подальшій розпалубці, скоротити транспортні операції по перевезенню великогабаритних щитів з одночасною значною економією матеріалів, завдяки тому, що для опалубки застосовуються інвентарні каркасні металеві щити.

У **третьому розділі** виконано дослідження міцності понтона зі зменшеною кількістю набору. Для дослідження міцності залізобетонних плит понтона при рівномірному тиску використаний програмний комплекс SolidWorks Simulation,

орієнтований на розрахунок конструктивно-однорідних тіл. У розрахунковому комплексі прийнятий один із різновидів методу скінченних елементів – метод переміщень. Основними невідомими є переміщення вузлів, в яких скінченні елементи взаємодіють між собою. У цих же вузлах прикладаються відповідні переміщенням фіктивні зусилля, що характеризують дію напружень уздовж кордонів стикування суміжних елементів.

Оскільки як основні невідомі прийняті вузлові переміщення, їх визначення можливе після побудови матриці жорсткості дискретної моделі конструкції. Визначення матриці жорсткості можливе на підставі припущення про характер зміни компонентів переміщень або напружень. Фактично вона є результатом складання рівнянь рівноваги в вузлових точках, які являють собою систему лінійних неоднорідних рівнянь алгебри з невідомими вузовими переміщеннями. Матриця жорсткості окремого елемента встановлює зв'язок між його вузовими переміщеннями і вузовими зусиллями, який у матричному вигляді записується як

$$\{R\}=[K]\{q\}, \quad (1)$$

де $\{R\}=\{R_{1x}, R_{1y}, R_{1z}, \dots, R_{nx}, R_{ny}, R_{nz}\}$, – вектор-стовпець зусиль у n вузлах елемента; $\{q\}=\{u_1, v_1, w_1, \dots, u_n, v_n, w_n\}$, – вектор-стовпець вузових переміщень, що відповідають вузовим зусиллям; $[K]$ – матриця жорсткості, яка, по суті, визначає пружні властивості розглянутого скінченного елемента.

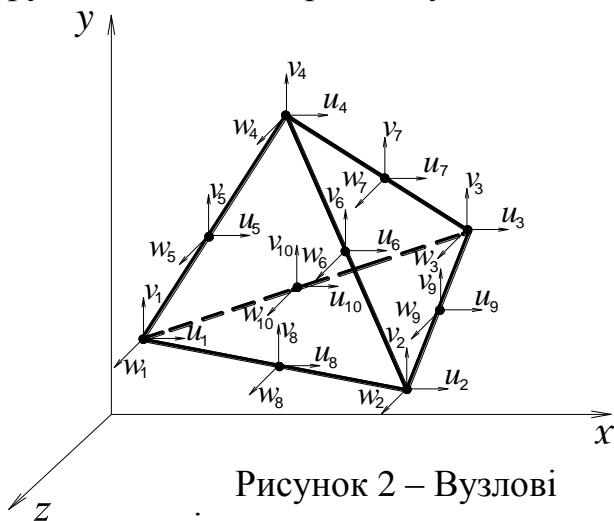


Рисунок 2 – Вузові переміщення у тетраедричному скінченному елементі

Визначення матриці жорсткості можливе на підставі припущення про характер зміни за обсягом елемента компонентів переміщень або напружень. При моделюванні в комплексі застосовано тетраедричний скінченний елемент з десятима вузовими точками (рис. 2), кінцевий деформований стан якого визначається переміщеннями десяти вузових точок уздовж трьох координатних осей (x, y, z), уздовж осі x представлено у вигляді точки.

$$u = a_1 + a_1x + a_2y + a_3z + a_4xy + a_5xz + a_6yz + a_8x^2 + a_9y^2 + a_{10}z^2 \quad (2)$$

За аналогією з (2) можна записати вирази для переміщень $v(x, y, z)$ і $w(x, y, z)$ відповідно вздовж осей y та z . Тридцять довільних параметрів a_i у залежностях для u, v, w можуть бути виражені через вектор вузових переміщень, що дає змогу представити цей вектор $\{U\} = \{u, v, w\}$ у наступному вигляді:

$$\{U\}=[B]\{q\}, \quad (3)$$

де $\{q\}$ – вектор вузових переміщень скінченного елемента; $[B]$ – прямокутна матриця, елементи якої залежать від координат положення даної точки.

Використовуючи залежності Коші і закон Гука, з урахуванням (3) можна отримати зв'язок компонентів деформацій і напружень з вузовими переміщеннями скінченного елемента:

$$\{\varepsilon\}=[D]\{q\}, \quad (4)$$

$$\{\sigma\}=[E]\{q\}, \quad (5)$$

де $\{\varepsilon\}=\{\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}\}$ – вектор-стовпець деформацій;

$\{\sigma\}=\{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}\}$ – вектор-стовпець напружень;

$[D]$ – прямокутна матриця, елементи якої залежать від координат положення даної точки; $[E]$ – прямокутна матриця, елементи якої залежать від координат положення даної точки і від пружних сталих матеріалу конструкції.

Розглядаючи вузлові зусилля $\{R\}$ як деяких зовнішніх сил, дія яких усередині скінченного елемента викликає напружено-деформований стан, що описується залежностями (4) і (5), на підставі принципу можливих переміщень можна отримати

$$\{R\}=[\int_V [D]^T [E] dV] \{q\}; \quad (6)$$

$$[K]=\int_V [D]^T [E] dV, \quad (7)$$

де $[D]^T$ – транспонована матриця координат у залежності Коші, інтегрування з якої виконується по всьому об'єму V скінченного елемента, а матриця $[K]$ є квадратною, з порядком, що дорівнює кількості ступенів свободи тетраедричного скінченного елемента – тридцяти. Ця матриця повністю визначає жорсткісні властивості розглянутого елемента.

Формули (6), (7) розкривають зміст складових у залежності (1) для пружного тіла.

Для визначення невідомих вузових переміщень дискретної моделі $\{q'\}$, які представлені в загальній системі координат, складаються рівняння рівноваги для кожного вузла дискретної моделі з урахуванням параметрів зовнішнього навантаження, умов закріплення даного вузла і виключення переміщень конструкції як жорсткого цілого. При цьому зовнішнє навантаження повинне бути приведене до вузлового вигляду.

Після виключення вузових зусиль скінченних елементів з рівнянь рівноваги за допомогою матриць жорсткості окремих елементів утворюється система неоднорідних алгебраїчних рівнянь з невідомими вузовими переміщеннями. Цю систему в матричному вигляді можна записати як

$$[K']\{q'\}=\{F'\}, \quad (8)$$

де $[K']$ і $\{F'\}$ – загальна матриця жорсткості і вектор зовнішніх вузових сил для всієї дискретної моделі в загальній системі координат відповідно.

Загальна матриця жорсткості $[K']$ рівняння (8) є виродженою і має стрічкову структуру. Ширина стрічки залежить від порядку обходу вузлів, для яких складаються рівняння рівноваги. Розв'язання системи рівнянь (8) для досліджуваної дискретної моделі виконується за стандартною програмою пакета SolidWorks Simulation.

Після визначення переміщень вузлів деформації і напруження можуть бути обчислені відповідно до залежностей (4) і (5). Тоді наведені (еквівалентні) напруження можна знайти за будь-яким критерієм, наприклад, за енергетичною теорією Мізеса.

З огляду на подвійну симетрію плит, розрахунок напруженого стану виконано для 1/4 частини плити. При цьому в моделях відображені арматура (марки

сталі 09Г2С) двох взаємно перпендикулярних напрямків, а також бетон М700, категорії морозостійкості F300, категорії водонепроникності W10, який працює окремо на стискання й окремо на розтягування.

Важливо, що особливістю роботи бетону є зменшення опору при роботі на розтягування за рахунок менших міцнісних характеристик і завдяки утворенню мікро- та макротріщин, тому стиснутий і розтягнутий бетон були змодельовані окремими геометричними тілами з різними показниками міцності і жорсткості.

Модуль пружності арматури прийнятий рівним $2,0 \times 10^{11}$ Па, для бетону при стисканні – $0,38 \times 10^{11}$ Па, для бетону марки при розтягуванні – $0,11 \times 10^{11}$ Па.

Розрахункова конструкція залізобетонної плити палуби розділена на 5001360 скінченних елементів тетраедричної форми і 6765687 вузлових точок, для чверті плити днища – 3915831 і 5310498 відповідно.

Для моделей застосована адаптивна скінченно-елементна сітка з великим розміром елементів у центрі і згущена до циліндричних поверхонь арматурних елементів для підвищення точності визначення напружено-деформованого стану в досліджуваному районі. На рис. 3 представлений фрагмент розділення залізобетонної плити понтона доку на скінченні елементи.

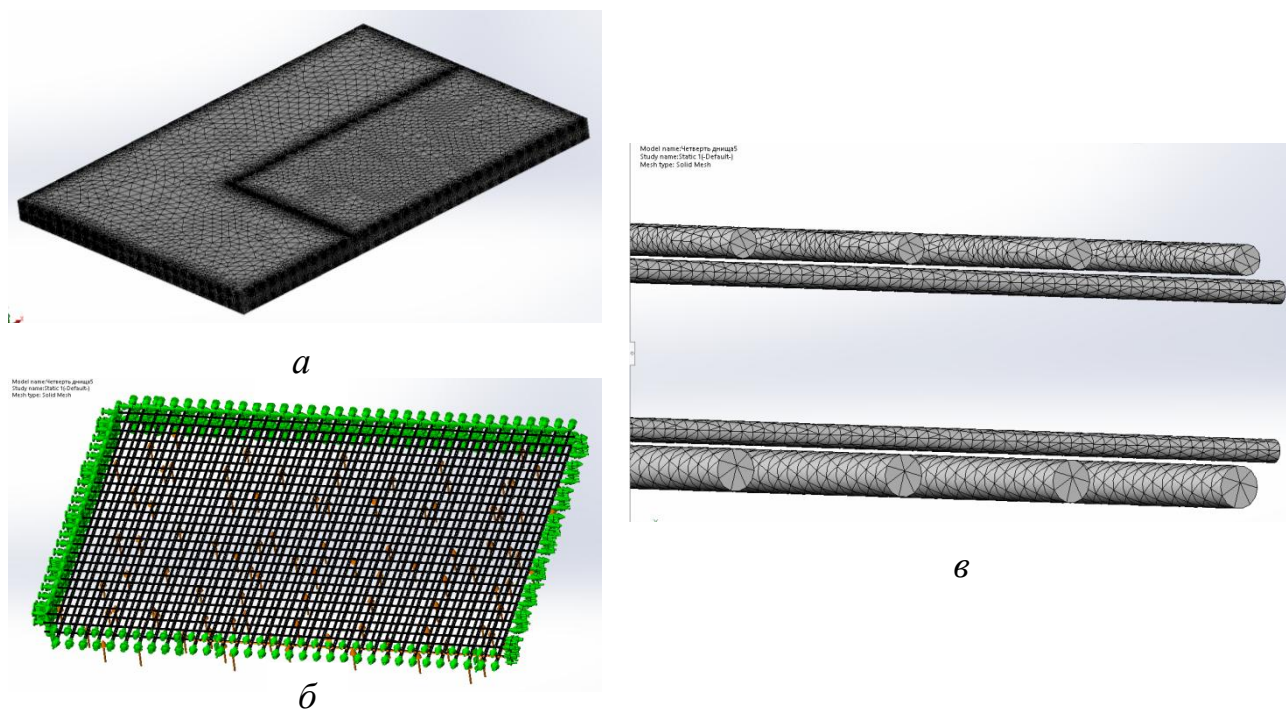


Рисунок 3 – Розділення на скінченні елементи: моделі (а); плити (б); арматури (в)

Плити стапель-палуби розраховувались на поперечне рівномірне гідростатичне навантаження при повному зануренні, що складає 60 кПа на рівні стапель-палуби при сухому відсіку. Днищові плити розраховувались на поперечне рівномірне гідростатичне навантаження при повному зануренні, що складає 92 кПа на рівні ОП при сухому відсіку. Розрахунки показали, що максимуми зведених напружень за критерієм Мізеса (енергетичною теорією) виникають в арматурі, розташованій з протилежної сторони від прикладення навантаження, в затисненнях у середині довгих сторін.

На рис. 4 наведено приклад розрахунку зведених напружень для палубних пластин (а) напруження сягають 102 МПа і для днищових пластин (б) 120 МПа, з коефіцієнтами запасу 3,82 і 3,25 відповідно, що перевищують необхідний коефіцієнт у 2,7 і 2,3 рази.

При максимальному навантаженні зведені напруження по Мізесу в арматурі не перевищують 120 МПа при максимумі нормальних напружень ~ 100 МПа в поперечному напрямку, що відповідає коефіцієнту запасу 3,82 для використаної арматури палубних пластин.

У поздовжньому напрямку арматура також недовантажена, особливо в стиснутій області. Відношення границі плинності сталеві арматури класу А-III до максимальних зведених напружень плит днища становить не менше ніж 3,25.

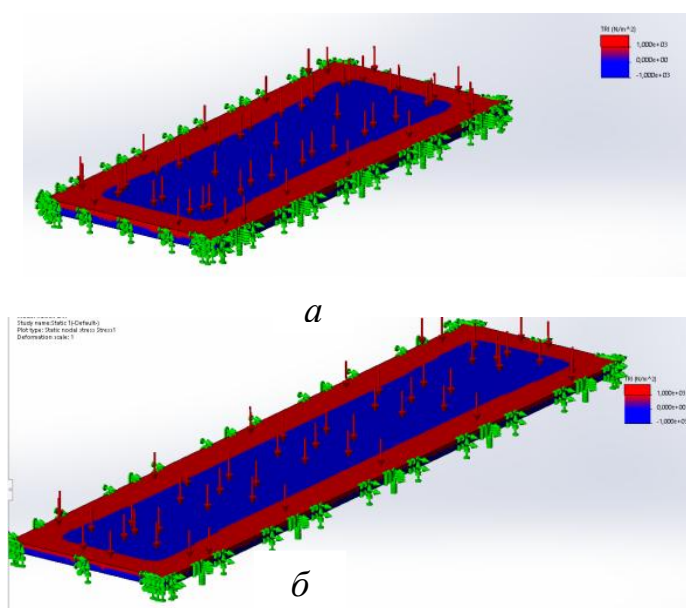


Рисунок 5 – Епюри розподілення напружень: пластини розміром $200 \times 3000 \times 7000$ (а); пластини розміром $160 \times 3000 \times 12000$ (б)

Отримані результати дають змогу стверджувати, що ширина зони розтягування верхніх і стиснення нижніх шарів пластини поблизу опорного контуру також не залежить від відносин довжин сторін у розглянутому діапазоні від 1 до 1:4, і становить близько 22 % довжини короткої сторони пластини. Отримана величина збігається з величиною приєднаного паска пластини, що працює спільно з ребром жорсткості при втраті стійкості обшивки, рекомендованої П.Ф. Папковичем

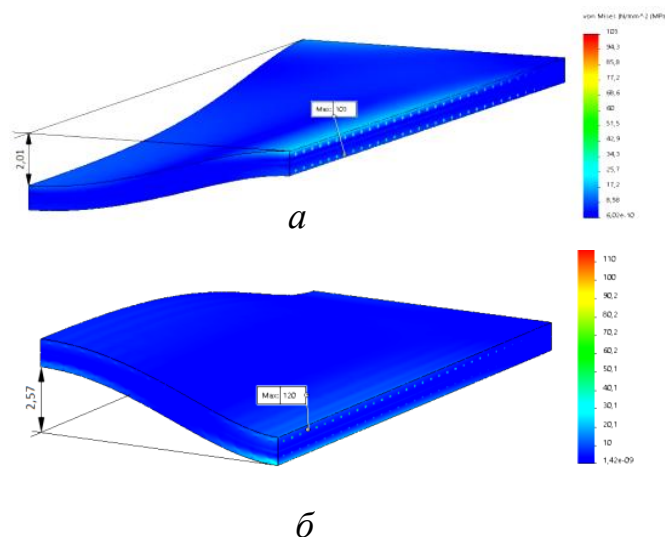


Рисунок 4 – Зведені напруження і стрілки прогину в плитах: стапель-палуби (а); днища (б)

у результаті обробки числових рішень рівнянь Кармана для пластин у складі перекриттів, отриманих П.А. Соколовим.

Унаслідок отриманих висновків, при моделюванні композитних залізобетонних пластин можна вважати їх розтягнутими з боку прикладеного навантаження на відстані приблизно 0,22 довжини короткої сторони опорного контуру і стиснутими в середній частині пластини, і навпаки – стиснутими на такій же відстані з боку протилежної площини прикладання навантаження. Таким чином буде враховуватися відмінність механічних характеристик бетону та його опору в розтягнутих і стиснутих зонах. Пластину при цьому можна вважати жорстко закріпленою по чотирьох сторонах опорного контуру, враховуючи її велику товщину та симетрію кріплень і навантаження.

При моделюванні пластин днища довжина більшої сторони опорного контуру прийнята рівною відстані між поздовжніми стінками 6700 мм, виходячи з конструктивних розмірів доку. Довжина короткої сторони варіювалася кратно поздовжньої шпациї 500 мм, і становила 2000, 3000, 4000, 5000 і 6000 мм. Також була побудована модель квадратної плити розміром 6700×6700 мм як граничний випадок відносини довжин сторін 1:1.

Діаметр арматури поздовжнього напрямку вздовж коротких сторін: у верхній частині плити 16 мм; у нижній частині плити 22 мм, діаметр арматури поперечного напрямку прийнято 12 мм. Як матеріали були використані найбільш поширені при виготовленні композитних доків: сталь класу А-III з границею плинності $\sigma_T = 390$ і модулем пружності $E = 2,0 \times 10^5$ МПа; важкий бетон категорії В50 з границею міцності при стисканні $\sigma_B = 36$ МПа, границею міцності при розтягуванні $\sigma_B = 2,3$ МПа і модулем пружності при стисканні $E = 0,38 \times 10^5$ МПа. Модуль пружності при розтягуванні був прийнятий $E = 0,11 \times 10^5$ МПа, враховуючи зменшений опір бетону при розтягуванні і можливість утворення мікротріщин. Коефіцієнт запасу міцності для бетону й арматури при згині прийняті $k = 1,4$ відповідно до [12]. Таким чином, допустимі напруження склали: при стисканні – сталь $[\sigma] = 245$ МПа, бетон $[\sigma] = 26$ МПа, при розтягуванні – сталь $[\sigma] = 245$ МПа, бетон $[\sigma] = 1,6$ МПа.

З графіків (рис. 6–8), побудованих у результаті розрахунку міцності, вибрано раціональні розміри плит понтона, ширина яких дорівнює 3 м, а довжина 7 м.

На рис. 6–8 використані наступні позначення: S_x – нормальні напруження вздовж довгих кромок пластини; S_z – нормальні напруження вздовж коротких кромок пластини; VM – зведені напруження за теорією Мізеса; $pS_z_avg\pm$ – середнє напруження в бетоні вздовж коротких кромок; pS_z+ – найбільші напруження в розтягнутому бетоні вздовж коротких кромок; pS_z- – найбільші напруження в стиснутому бетоні вздовж коротких кромок; $pS_x_avg\pm$ – середнє напруження в бетоні вздовж довгих кромок; pS_x+ – найбільші напруження в розтягнутому бетоні вздовж довгих кромок; pS_x- – найбільші напруження в стиснутому бетоні вздовж довгих кромок.

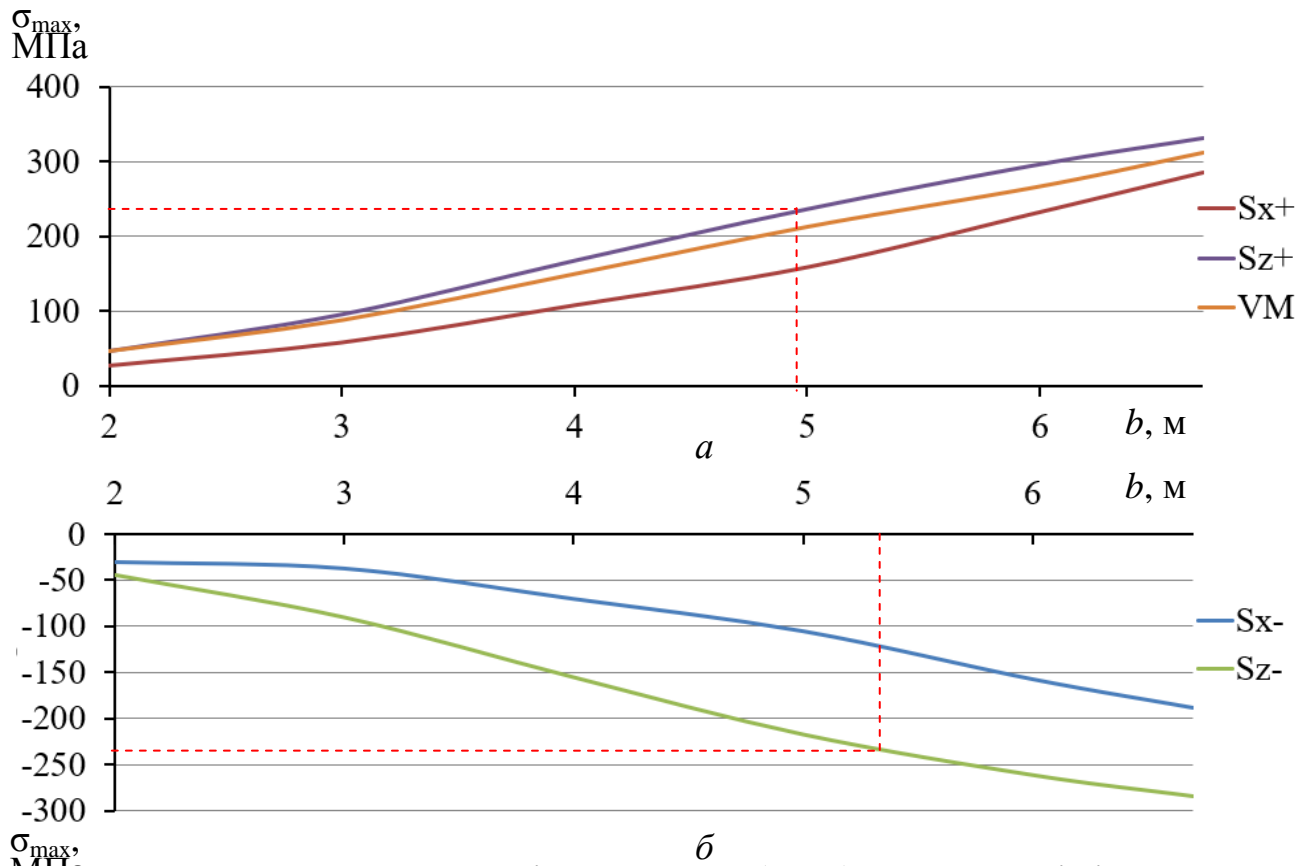


Рисунок 6 – Максимальні напруження (МПа) в залежності від довжини короткої сторони пластини (м): у верхній арматурі (а); у нижній арматурі (б)

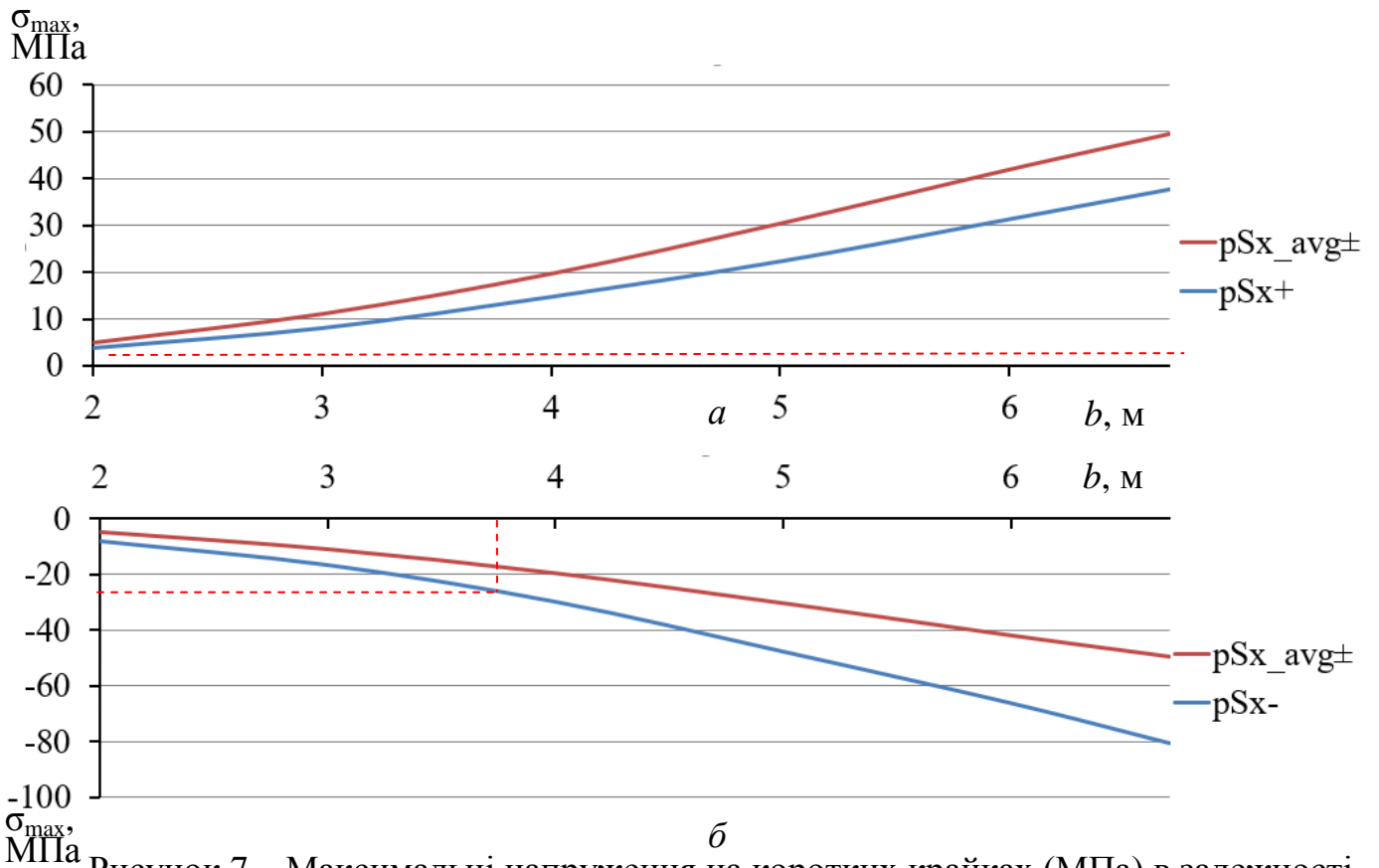


Рисунок 7 – Максимальні напруження на коротких крайках (МПа) в залежності від довжини короткої сторони пластини (м): у верхніх шарах бетону (а); у нижніх шарах бетону (б)

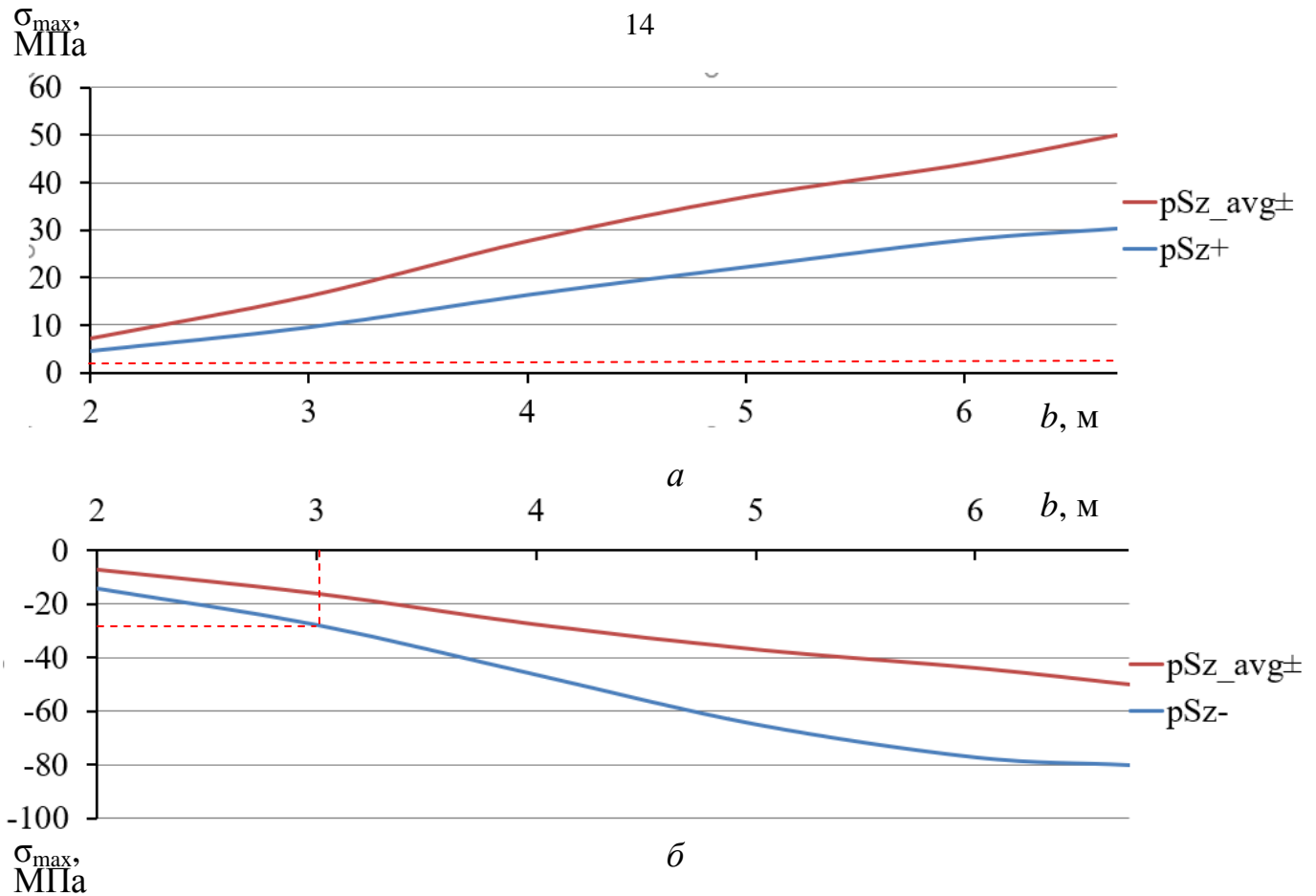


Рисунок 8 – Максимальні напруження (МПа) на довгих краяхах у залежності від довжини короткої сторони пластини (м): у верхніх шарах бетону (а); у нижніх шарах бетону (б)

При моделюванні використана адаптивна сітка скінченних елементів зі згущенням до армуючих елементів і лініях переходу від розтягнутих до стиснутих зон. Розміри короткої сторони не повинні перевищувати мінімальне значення, яке відповідає максимальним напруженням у нижніх стиснутих шарах бетону посередині довгих сторін. Таке ж положення небезпечних точок відповідає визначеним при розрахунках сталевих прямокутних плит. Таким чином, при заданому рівні навантаження розмір короткої сторони залізобетонної плити не повинен перевищувати 3 м.

Арматура обох напрямків є вочевидь недовантаженою, що дає підстави рекомендувати зменшити її діаметр або використати арматуру меншого класу міцності. Як і було передбачено, в розтягнутих зонах бетону напруження перевищують допустимі, що має призвести до появи мікротріщин і зменшення опору бетону в розтягнутих областях.

В **четвертому розділі** на основі розрахунків міцності вдосконалено конструкцію та технологію побудови композитних плавучих доків. Розроблено конструкцію залізобетонного понтона композитного доку зі зменшеною кількістю набору, в якому арматура, що працює на місцеву міцність, встановлюється зовні, в напрямку найменшого прольоту, а арматура, що працює на загальну міцність, встановлюється всередині елемента конструкції понтона. Вдосконалено конструктивно-технологічні схеми для антикорозійного захисту баластних систем

плавучих доків. Металеві башти композитного плавучого доку набрані за поздовжньою системою набору. Поперечні рамні зв'язки (рамні бімси і шпангоути) стінок і палуб башт повинні розташовуватися в площині головних поперечних в'язей понтона.

Поперечні перегородки між внутрішніми бортами встановлюються через 4 шпациї, тобто через 3 метри, в порівнянні з традиційною конструкцією, в якій перегородки встановлюються через 1,5 метри. Конструкція залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору показана на рис. 9.

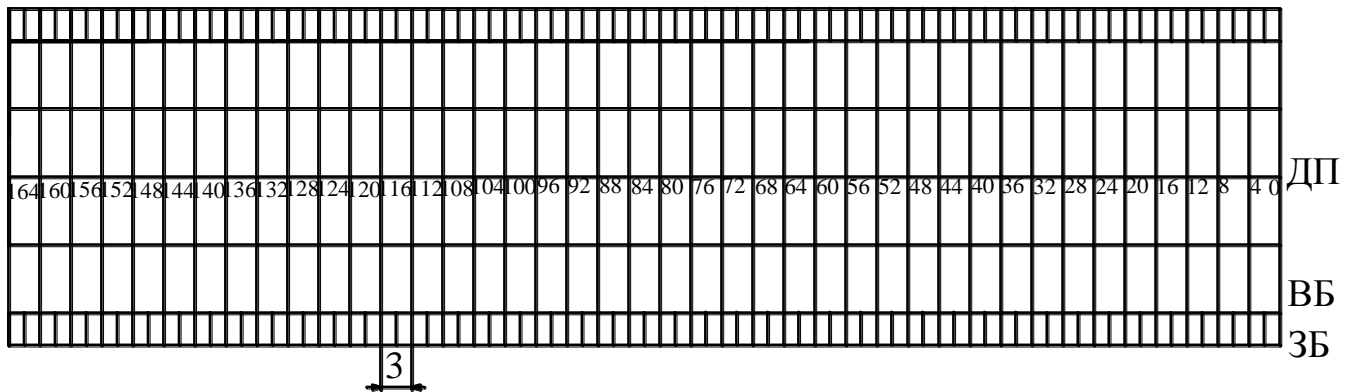


Рисунок 9 – Конструкція залізобетонного понтона доку зі зменшеною кількістю набору

Поперечний переріз композитного плавучого доку зі зменшеною кількістю набору в понтоні наведено на рис. 10, де 1 – топ-палуба; 2 – палуба безпеки; 3 – стапель-палуба; 4 – конструкція вузла з'єднання днища та зовнішньої поздовжньої стінки понтона; 5 – вузол стапель-палуби в районі установки кільблоків у ДП; 6 – вузол з'єднання башти та внутрішньої поздовжньої стінки понтона; 7 – вузол з'єднання зовнішньої стінки понтона зі стапель-палубою; 8 – поздовжні ребра жорсткості в баштах, які забезпечують загальну поздовжню міцність доку; 9 – вирізи в поперечних діафрагмах для перетікання рідини при зануренні-спливанні.

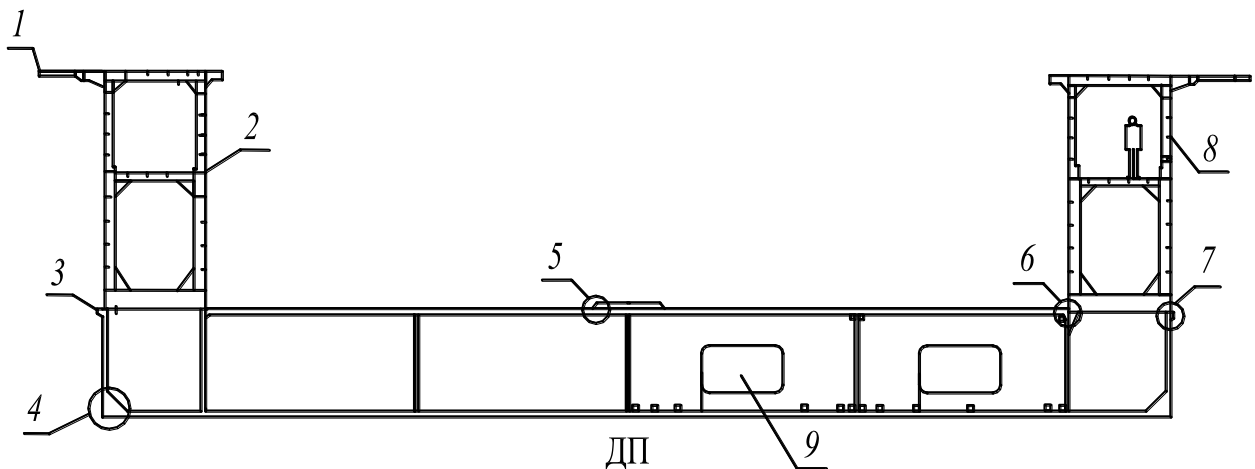


Рисунок 10 – Поперечний переріз композитного плавучого доку зі зменшеною кількістю набору в понтоні

При постановці судна в док кільблки ставляться на поздовжню перегородку доку, навантаження від якої передаються на розставлені поперечні перегородки доку, завдяки чому забезпечується загальна поперечна міцність. Конструкція бетонних перекриттів сприймає в декілька разів більший момент опору, ніж сталеві конструкції, що дає змогу збільшити прогін перекриття і рідше розставляти опори-перегородки.

На рис. 11 представлений вузол з'єднання башти та понтона, де 1 – стапель-палуба; 2 – понтон; 3 – зовнішня стінка понтона; 4 – полотно башти; 5 – бімс; 6 – книця; 7 – заставна деталь для кріплення зовнішнього та внутрішнього борту башти; 8 – виріз для води.

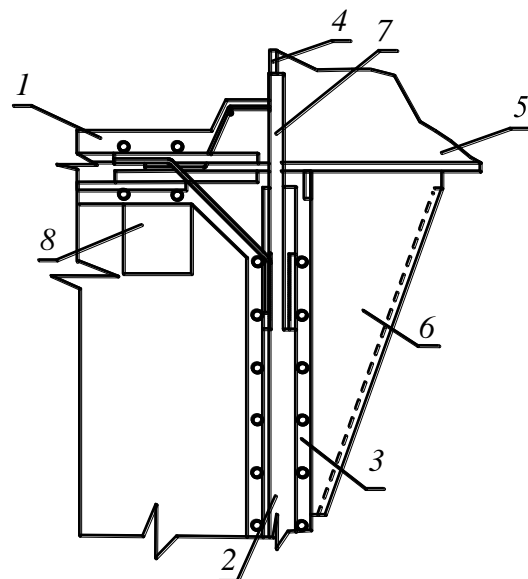


Рисунок 11 – Вузол з'єднання башти та понтона

На основі запропонованої конструкції залізобетонного понтона плавучого композитного доку вдосконалена технологія його побудови, яка спрощує виробничий процес за рахунок скорочення операцій укладання плоских залізобетонних плит поперечного напрямку. Розроблений технологічний процес (ТП) побудови залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору наведено на рис. 12.

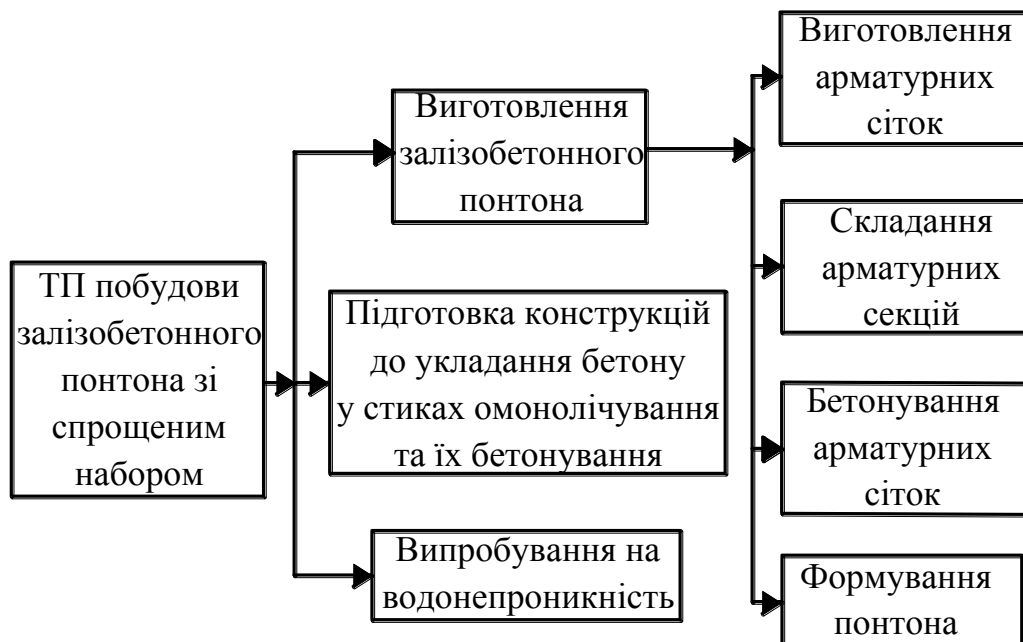


Рисунок 12 – Узагальнений технологічний процес побудови залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору

В результаті впровадження вдосконаленої технології побудови залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору витрати бетону скорочуються на 8 %, електроенергії – на 4 %, води – на 4 % і персоналу на 6 %.

Тривалість виробничого процесу скорочується за рахунок скорочення етапів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва.

За результатами роботи, з метою визначення ефективності результатів дисертаційного дослідження, порівняно показники матеріалоемності, собівартості та трудомісткості побудови запропонованої конструкції плавучого композитного доку зі зменшеною кількістю набору в понтоні з показниками традиційної конструкції плавучих доків, побудованих на Херсонському державному заводі «Палада». Результати розрахунку дають змогу стверджувати, що впровадження вдосконаленої конструкції та технології побудови залізобетонного понтона плавучого композитного доку дозволяє знизити матеріалоемність понтона на 12 %, собівартість його побудови до 4 % та трудомісткість на 7 %.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розв'язано актуальне науково-прикладне завдання вдосконалення конструкції та технології побудови залізобетонного понтона плавучих композитних доків. На підставі отриманих результатів основні висновки полягають у наступному:

1. **Вперше** досліджено розподіл стиснутих та розтягнутих зон залізобетонної плити понтона плавучого композитного доку зі зменшеною кількістю набору при різних значеннях товщини і відносин довжин сторін на основі числового моделювання. В результаті виявлено, що розподіл областей стиснутих і розтягнутих зон пластин не залежить від товщини при відхиленнях у межах 25 % від референтного значення 160 мм, і визначено раціональні розміри плити – довжиною 7 м та шириною 3 м.

2. **Удосконалено** схему розрахунку стапель-палуби і днища залізобетонного понтона плавучого композитного доку для випадків повного занурення на тихій воді без урахування можливих динамічних навантажень, яка враховує роботу арматури у взаємно перпендикулярних напрямках, що дозволило точно оцінити напружено-деформований стан залізобетонних плит понтона зі зменшеною кількістю набору. Результати досліджених зведених напружень у плитах стапель-палуби залізобетонного понтона доку підйомної сили 5000 т показали, що фактичні коефіцієнти запасу при зменшеній кількості набору задовольняють вимогам міцності. При максимальному завантаженні зведені напруження по Мізесу в арматурі не перевищують 120 МПа при максимумі нормальних напружень ~ 100 МПа в поперечному напрямку, що відповідає коефіцієнту запасу 3,82 для використаної арматури палубних пластин. У поздовжньому напрямку арматура також недовантажена, особливо в стиснутій області. Відношення границі плинності сталеві арматури класу А-III до максимальних зведених напружень плит днища становить не менше ніж 3,25.

3. **Удосконалено** конструкцію залізобетонного понтона плавучого композитного доку зі зменшеною кількістю набору на основі результатів розрахунку міцності, що дозволило встановлювати поперечні перегородки між внутрішніми

бортами на вдвічі більшій відстані, ніж за схемою, яка використовується на виробництві, та знизити матеріалоємність конструкцій понтонів на 12 %.

4. **Удосконалено** технологію побудови залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору за рахунок зміни конструкції оснащення стапеля, що дозволило раціоналізувати виготовлення понтона, полегшити умови праці, скоротити транспортні операції з перевезення великогабаритних щитів та забезпечити зниження трудомісткості технологічного процесу побудови понтона на 7 %.

5. **Удосконалено** конструктивно-технологічні схеми для антикорозійного захисту баластних систем плавучих доків методом «флотації», що дозволило зменшити трудовитратні роботи під час ремонту на 16 %, а також виключити трудомісткі роботи по відновленню захисних покриттів у важкодоступних відсіках та знизити трудомісткість загальноремонтних робіт на 9 %.

6. **Отримало подальший розвиток** застосування методики скінченно-елементного розрахунку залізобетонного понтона композитного плавучого доку, яка забезпечує раціональне конструювання понтона зі зменшеною кількістю набору.

7. Результати проведених у роботі досліджень **впроваджені** в порядку дослідної експлуатації на Херсонському державному заводі «Палада» та Херсонській верфі Smart Maritime Group, використовуються в навчальному процесі відповідно до навчальних планів освітніх ступенів бакалавра та магістра зі спеціальності 135 «Суднобудування» за освітньо-професійними програмами «Суднокорпусобудування» та «Судноремонт та технічне обслуговування флоту» у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в іноземних і фахових виданнях

1. Щедролосев, А. В. Анализ состояния строительства плавучих доков / А. В. Щедролосев, **К. В. Кириченко** // Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy. – 2018. – N 1. – P. 45–58 (*іноземне фахове видання*) – **авторський вклад:** *аналіз стану побудови плавучих доків, класифікація доків за призначенням, формою, матеріалом корпусу та автономністю, постановка завдання для раціоналізації конструкції доків.*

2. Shchedrolosiev, O. Improvement of the Structure of Floating Docks Based on the Study Into the Stressed Deformed State of Pontoon / O. Shchedrolosiev, L. Korostylov, S. Klymenkov, O. Uzlov, **К. Kyrychenko** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 6, N 7. – P. 26–31 (*фахове видання України, НМБ: Scopus, Index Copernicus, eLIBRARY, EBSCO, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, WorldCat та ін.*) – **авторський вклад:** *постановка завдання, розробка рекомендацій щодо вдосконалення конструкції плавучого композитного доку, узагальнення результатів досліджень.*

3. Shchedrolosiev, O. Devices for Maintenance Comfort Working Conditions in Floating Docks / O. Shchedrolosiev, O. Uzlov, H. Konovalova, **К. Kyrychenko** // Shipbuilding and Marine Infrastructure. – 2018. – N 1. – P. 134–143 (*фахове видання*)

України, НМБ eLIBRARY) – авторський вклад: класифікація пристроїв, що використовуються для безпечної роботи у плавучих доках.

4. Kyrychenko, K. Methods of Improvement of the Design and Construction Technology of Composite Docks / **К. Kyrychenko**, Yu. Yahlytskyi, O. Shchedrolosiev // Shipbuilding and Marine Infrastructure. – 2019. – N 2. – P. 36–47 (*фахове видання України, НМБ eLIBRARY) – авторський вклад: розроблення технологічних рекомендацій щодо армування днищових плит залізобетонного понтона в районі сприйняття максимального гідростатичного тиску.*

5. Kyrychenko, K. Use of High-Performance Plasticizers to Provide Design and Operational Requirements for the Concrete Composition for the Construction of Floating Composite / **К. Kyrychenko**, O. Shchedrolosiev, O. Rashkovskyi // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2018. – № 1. – С. 19–27 (*фахове видання України, НМБ: Index Copernicus, eLIBRARY, EBSCO, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, WorldCat та ін.) – авторський вклад: аналіз, систематизація та узагальнення пластифікуючих домішок до суднобудівних бетонів.*

6. Кириченко, К. В. Усовершенствование технологии строительства композитных плавучих доков большой подъемной силы / **К. В. Кириченко**, А. В. Щедролосоєв // Science and Education a New Dimension. – 2018. – N 158. – P. 61–68 (*іноземне видання, НБМ: Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar та ін.) – авторський вклад: розроблення технології побудови плавучих композитних доків зі зменшеною кількістю набору в понтоні.*

7. Кириченко, К. В. Особенности расчета технико-экономических показателей конструкций плавучих композитных доков со зменшеною кількістю набору у понтоні / К. В. Кириченко // Наук. вісн. Херсон. держ. мор. акад. – 2019. – № 2. – С. 154–164 (*фахове видання України, НМБ eLIBRARY).*

8. Щедролосоєв, О. В. Удосконалення конструктивно-технологічних вузлів з'єднання залізобетонного понтона з поперечною діафрагмою та металевою баштою плавучого композитного доку / О. В. Щедролосоєв, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко** // Наук. вісн. Херсон. держ. мор. акад. – 2020. – № 1. – С. 125–134 (*фахове видання України, НМБ eLIBRARY) – авторський вклад: розроблення конструкції та технологічних рекомендацій побудови вузлів з'єднання залізобетонного понтона з поперечною діафрагмою та металевою баштою.*

Патенти

9. Пат. 113891 Україна, МПК В63В 9/00 В63С 5/00. Стапель для спорудження залізобетонних суден / О. В. Щедролосоєв, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко**. – № u201605644 ; заявл. 25.05.2016 ; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4. – 4 с. – *авторський вклад: удосконалення технологічного процесу розпалубки.*

10. Пат. 126746 Україна, МПК В63С 1/02. Композитний безнабірний понтон доку / В. Ф. Маломан, В. М. Коннов, О. В. Щедролосоєв, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко**. – № u201710669 ; заявл. 02.11.2017 ; опубл. 10.07.2018, Бюл. № 13. – 4 с. – *авторський вклад: визначення раціональної відстані між поперечними перегородками залізобетонного понтона.*

11. Пат. 117657 Україна, МПК В63В 43/06. Танк ізольованого баласту наливного судна / О. В. Щедролоєв, О. С. Рашковський, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко**. – № u201605367 ; заявл. 25.05.2016 ; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13. – 4 с. – **авторський вклад:** розробка конструктивно-технологічних схем баластних систем з використанням плавучих інгібіторів.

Опубліковані праці апробаційного характеру

12. Коростильов, Л. І. Розрахунок міцності конструкції залізобетонного понтону зі зменшеною кількістю набору методом кінцевих елементів / Л. І. Коростильов, О.В. Щедролоєв, С. Ю. Клименков, **К. В. Кириченко** // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв, 2018. – С. 85–87 (очна участь) – **авторський вклад:** дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних плит понтона композитного доку.

13. Щедролоєв, О. В. Удосконалення конструкції композитних плавучих доків шляхом зменшення кількості набору / О. В. Щедролоєв, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко**, В. Ф. Маломан, В. М. Коннов // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв, 2018. – С. 94–95 (очна участь) – **авторський вклад:** вибір та обґрунтування раціональної кількості набору конструкції залізобетонного понтона плавучого композитного доку.

14. Щедролоєв, А. В. Технология сращивания железобетонных понтонов композитных плавучих доков большой подъемной силы на плаву / А. В. Щедролоєв, А. С. Рашковский, В. Ф. Маломан, А. Н. Узлов, **К. В. Кириченко** // Materials of XIII International Scientific-Technical Conference on «Water Transport Problems». – Baki, 2018. – P. 35–42 (заочна участь) – **авторський вклад:** розроблення технологічних рішень побудови композитних плавучих доків зі зменшеною кількістю набору в понтоні.

15. Коростильов, Л. І. Скінчено-елементний аналіз міцності плит палуби і днища залізобетонного понтону зі зменшеною кількістю набору / Л. І. Коростильов, О. В. Щедролоєв, С. Ю. Клименков, **К. В. Кириченко** // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв, 2018. – С. 95–98 (очна участь) – **авторський вклад:** визначення фактичних коефіцієнтів запасу на основі розрахунків зведених напружень у плитах стпель-палуби залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору.

16. Shchedrolosiev, O. Major Ways to Improve the Design and Technology of Composite Dock Building / O. Shchedrolosiev, Yu. Yahlytskyi, **К. Kyrychenko** // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв, 2019. – С. 116–120 (очна участь) – **авторський вклад:** обґрунтування вибору основних параметрів для раціоналізації конструкції залізобетонного понтона.

17. Яглицький, Ю. К. Дослідження раціональної конструкції композитного плавучого доку / Ю. К. Яглицький, **К. В. Кириченко** // Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». – Херсон, 2019. – С. 170–171 (очна участь) – **авторський вклад:** *встановлення взаємозв'язку між напрямками раціоналізації конструкції та основними вимогами, що пред'являються до конструкції композитного доку.*

18. Щедролоєв, О. В. Удосконалення конструкції стапеля для побудови залізобетонних понтонів композитних плавучих доків / О. В. Щедролоєв, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко** // Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». – Херсон, 2019. – С. 235–237 (очна участь) – **авторський вклад:** *розроблення оснащення стапеля для побудови залізобетонних понтонів композитних плавучих доків.*

19. Щедролоєв, О. В. Удосконалення конструктивного вузла з'єднання металевої башти із залізобетонним понтоном / О. В. Щедролоєв, В. М. Коннов, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко** // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». – Миколаїв, 2020. – С. 135–139 (очна участь) – **авторський вклад:** *розроблення конструкції і технологічних рекомендацій побудови вузла з'єднання металевої башти із залізобетонним понтоном.*

20. Кириченко, К. В. Визначення розрахункових залежностей при обґрунтуванні економічної доцільності побудови композитних плавучих доків зі зменшеною кількістю набору у понтоні / К. В. Кириченко // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT-2020». – Херсон, 2020. – С. 235 – 237 (очна участь).

21. Щедролоєв, О. В. До питання побудови плавучих композитних доків зі зменшеною кількістю набору у понтоні / О. В. Щедролоєв, **К. В. Кириченко** // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT-2020». – Херсон, 2020. – С. 281–283 (очна участь) – **авторський вклад:** *розробка технологічних рекомендацій виготовлення конструкцій залізобетонного понтона зі збільшеною відстанню між поперечними перегородками.*

22. Щедролоєв, О. В. Удосконалення конструктивного вузла з'єднання днища та зовнішньої поздовжньої стінки понтона композитного плавучого доку / О. В. Щедролоєв, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко** // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». – Херсон, 2020. – С. 246–247 (очна участь) – **авторський вклад:** *розроблення конструкції вузла з'єднання днища та зовнішньої поздовжньої стінки понтона.*

23. Щедролоєв, О. В. Удосконалення конструктивного вузла з'єднання поперечної діафрагми з днищем понтона композитного плавучого доку / О. В. Щедролоєв, В. М. Коннов, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко** // Матеріали XI

Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв, 2020. – Т. 1. – С. 50–53 (очна участь) – **авторський вклад:** розроблення технологічних рекомендацій побудови вузла поперечної діафрагми з днищем понтона композитного плавучого доку.

Публікації, які додатково відображають наукові результати

24. Shchedrolosiev, O. Selection of a Generalized Efficiency Criterion for the Designing and Technology of Composite Dock Building / O. Shchedrolosiev, Yu. Yahlytskyi, **К. Кириченко** // Theoretical and Applied Questions of Mathematics, Mechanics and Computer Science : materials of the international scientific conference. – Karaganda, 2019. – P. 165–166 (заочна участь) – **авторський вклад:** розроблення алгоритму оцінки показників ефективності конструкції та технології побудови композитних доків.

25. Щедролосоєв, О. В. Розробка схем систем для забезпечення ремонтпридатності баластних відсіків транспортних і нафтоналивних суден, металевих і композитних плавучих ремонтних доків / О. В. Щедролосоєв, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко** // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв, 2015. – С. 41–43 (очна участь) – **авторський вклад:** розроблення конструктивно-технологічних заходів для забезпечення антикорозійного захисту суден і плавучих доків без виведення їх з експлуатації.

26. Кириченко, К. В. Анализ современного состояния коррозионной защиты цистерн чистого балласта транспортных, нефтеналивных судов и плавучих ремонтных доков / К. В. Кириченко // Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy. – 2016. – N 2. – P. 33–38 (**іноземне фахове видання**).

27. Щедролосоєв, О. В. Вплив пластифікуючих добавок на властивості бетону для будівництва композитних доків та гідротехнічних споруд / О. В. Щедролосоєв, **К. В. Кириченко** // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство». – Херсон, 2017. – С. 135–136 (заочна участь) – **авторський вклад:** аналіз суперпластифікаторів, що використовуються при побудові композитних доків та гідротехнічних споруд.

28. Щедролосоєв, О. В. Удосконалення властивостей бетону шляхом використання пластифікаторів для побудови високоміцних понтонів залізобетонних доків / О. В. Щедролосоєв, **К. В. Кириченко** // Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT-2018». – Херсон, 2018. – С. 382–384 (очна участь) – **авторський вклад:** класифікація пластифікаторів за принципом дії, що використовуються для побудови залізобетонних понтонів зі зменшеною кількістю набору.

29. Щедролосоєв, А. В. Усовершенствование технологии строительства понтонов композитных плавучих доков / А. В. Щедролосоєв, В. Н. Коннов, А. Н. Узлов, **К. В. Кириченко** // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасної науки». – Київ, 2018. – Ч. 3. – С. 38–40

(заочна участь) – **авторський вклад:** розроблення рекомендацій щодо зменшення стапельного періоду побудови доків.

30. Shchedrolosiev, O. Modern Ice-Retaining Devices for the Maintenance of Comfortable Working Conditions in Floating Docks / O. Shchedrolosiev, O. Uzlov, H. Konovalova, **К. Kyrychenko** // Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». – Херсон, 2018 – С. 240–243 (очна участь) – **авторський вклад:** класифікація льодозатримуючих пристроїв, які дозволяють проводити докування суден при наявності великої кількості льоду в акваторії, для забезпечення комфортних умов праці в плавучих доках.

31. Щедролосоєв, О. В. Технологічні особливості побудови композитних доків зі зменшеною кількістю набору у понтоні / О. В. Щедролосоєв, В. М. Коннов, О. М. Узлов, **К. В. Кириченко** // Матеріали міжнародної наукової конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення». – Тернопіль, 2018. – Вип. 29, ч. 1. – С. 109–111 (заочна участь) – **авторський вклад:** розроблення рекомендацій щодо укладання бетону при формуванні залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору.

32. Shchedrolosiev, O. Modern Dock Scaffoldings for the Maintenance of Safe Working Conditions in Floating Docks / O. Shchedrolosiev, O. Uzlov, H. Konovalova, **К. Kyrychenko** // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв, 2018. – С. 28–30 (очна участь) – **авторський вклад:** класифікація конструкцій лісів доку та вимог, що до них пред'являються, для безпечної роботи у плавучих доках.

33. Щедролосоєв, О. В. Системна організація технологічних процесів побудови композитних плавучих доків / О. В. Щедролосоєв, **К. В. Кириченко** // Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології». – Одеса, 2020. – С. 317–318 (заочна участь) – **авторський вклад:** розроблення рекомендацій до системної організації управління докобудівним підприємством для забезпечення комплексного вирішення завдань ефективного використання виробничих потужностей.

АНОТАЦІЯ

Кириченко К. В. Удосконалення конструкції та технології побудови залізобетонного понтона плавучих композитних доків. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.03 «Конструювання та будування суден». – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2021.

Основною метою дисертаційного дослідження є отримання нових даних, закономірностей, розрахункових схем, удосконалення конструкції та технології побудови залізобетонного понтона плавучих композитних доків для зниження матеріалоемності та зменшення трудомісткості їх побудови і собівартості робіт.

У дисертації обґрунтовано вдосконалення конструкції та технології побудови залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору плавучих композитних

доків за рахунок збільшення розміру шпациї. Виконано розрахунок напружено-деформованого стану плит стапель-палуби і днища залізобетонного понтона плавучого композитного доку зі зменшеною кількістю набору для випадків повного занурення на тихій воді без урахування можливих динамічних навантажень. Досліджено розподілення стиснутих та розтягнутих зон залізобетонної плити понтона плавучого композитного доку зі зменшеною кількістю набору при різних значеннях товщини і відносин довжин сторін на основі числового моделювання.

Запропоновано конструктивно-технологічні рішення вдосконалення конструювання залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору плавучих композитних доків на основі вимог, що пред'являються до корпусу доку та окремих його конструкцій. Удосконалено конструкцію стапеля для побудови залізобетонного понтона зі зменшеною кількістю набору та технологію побудови плавучих композитних доків зі зменшеною кількістю набору в понтоні.

Ключові слова: плавучі композитні доки, залізобетонний понтон; скінченно-елементний аналіз, конструювання та технологія побудови доків.

SUMMARY

Kyrychenko K. Improving the design and technology of building of reinforced concrete pontoon floating composite docks. - Manuscript.

Thesis for obtaining the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences on specialty 05.08.03 – «Design and building of ships. – Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, 2021.

The main purpose of the dissertation research is to obtain new data, patterns, calculation schemes for improving the design and technology of building the reinforced concrete pontoons of composite floating docks to reduce material consumption, building complexity of their construction and cost.

The dissertation substantiates the improvement of the design and technology of a reinforced concrete pontoon with a simplified set of floating composite docks by increasing the size of spaces. The stress-strain state of the berth-deck and the bottom slabs of the reinforced concrete pontoon of the floating composite dock with a complete set for the cases of complete immersion in to still water without taking into account possible dynamic loads is determined. The distribution of compressed and stretched zones of a reinforced concrete slab of a floating composite dock pontoon with a simplified set at different values of thickness and side length ratios on the basis of numerical modeling is investigated.

The designing and technological solution for improving the design of reinforced concrete pontoon with the simplified set of floating composite docks on the basis of the requirements shown to the dock case and its separate designs are offered. The design of a building berth for construction of a reinforced concrete pontoon with a simplified set and the technology of building of floating composite docks with a simplified set in a pontoon have been improved.

Keywords: floating composite docks, reinforced concrete pontoon; finitely-element analysis, design and technology of dock building.

Підписано до друку 24.03.2021 р. Формат 60×84/16.
Обл.-вид. арк. 0,9. Ум. друк. арк. 0,9.
Тираж 100 прим. Зам. 2504-3.

Поліграфічне підприємство СДП Румянцева Г.В.
54038, м. Миколаїв, вул. Бузника, 5/1.
Свідоцтво МК № 11 від 26.01.2007 р.